

福井県における大気汚染常時監視（その2）

— 高濃度観測事例 —

Air Pollution Monitoring in Fukui Prefecture (2)

– High Concentration Episodes –

山田 克則*
(福井県衛生環境研究センター)

泉 宏導**
(福井県衛生環境研究センター)

酒井 忠彰***
(福井県衛生環境研究センター)

谷口 佳文****
(福井県衛生環境研究センター)

1. はじめに

前報¹⁾では、福井県衛生環境研究センター（前身の組織を含む）が実施した過去約40年間の大気汚染常時監視の結果から、おもな大気汚染物質の主要測定局における年間平均濃度の経年変化をグラフ化し、本県の大気汚染状況の推移について概観した。本報では、おもな大気汚染物質4項目の近年の高濃度観測事例についてとりまとめた。

2. 方法

2. 1 対象データ

1989（平成元）年度から2011（平成23）年度までの23年間に福井局で観測した表1の4物質のデータを解析した。また、比較のために、敦賀局のデータについても参照した。表2に両測定局の所在地を示した。

表1 対象物質と環境基準²⁾

物質名	日平均値の環境基準（注）	1時間値の環境基準（注）
二酸化硫黄（SO ₂ ）	40ppb 以下	100ppb 以下
二酸化窒素（NO ₂ ）	40ppb から 60ppb までのゾーン内 またはそれ以下	基準なし
浮遊粒子状物質（SPM）	100 μg/m ³ 以下	200 μg/m ³ 以下
光化学オキシダント（Ox）	基準なし	60ppb 以下

（注）濃度の単位は環境基準の告示では ppm、mg/m³ であるが、本報告では ppb、μg/m³ で表示した。

表2 測定局の所在地

局名	所在地	経度/緯度
福井局	福井市豊島 2-5-26 豊島東公園内	136°13'21"E/36°03'25"N
敦賀局	敦賀市松栄町 7-28 敦賀地方合同庁舎敷地内	136°03'44"E/35°39'13"N

（キーワード：大気汚染，常時監視，高濃度，福井県）

* Katsunori Yamada ** Hiromichi Izumi *** Tadaaki Sakai **** Yoshifumi Taniguchi
(Fukui Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, Fukui, 910-8551)

2. 2 解析方法

(1) 対象期間における高濃度観測事例の検索

高濃度観測事例として、対象期間において最も高い日平均値（以下、「最高日平均値」という。）を観測した日を検索した。

検索は次の手順で行った。まず、対象物質ごとに各年度の日平均値の年間最高値の経年変化をグラフ化し、最高日平均値を観測した年度を特定した。次に、当該年度における日平均値の1年間の推移をグラフ化し、最高日平均値を観測した月を特定した。さらに、当該月における日平均値の1ヶ月間の推移をグラフ化し、最高日平均値を観測した日を特定した。

(2) 高濃度観測日の状況の解析

当該日の各測定物質および風向・風速の1時間値の推移をグラフ化した。また、関連情報として、前日・当日の天気図^{3,4)}を参照し、併せて、当日、福井局の上空、高度1,500m地点に到達した大気の過去3日間の移流経路を推定する後方流跡線図⁵⁾を作成した。

これらの情報をもとに、高濃度出現の要因について考察した。

3. 結果と考察

3. 1 二酸化硫黄（SO₂）

(1) SO₂高濃度観測日

図1-1に福井局および敦賀局における日平均値の年間最高値の経年変化を示した。同図から、最高日平均値を観測したのは福井局、敦賀局ともに2000年度であった。

図1-2に2000年度の福井局における日平均値の推移を示した。同図から、最高日平均値を観測したのは9月であった。

図1-3に9月の福井局および敦賀局における日平均値の推移を示した。同図から、福井局で最高日平均値を観測したのは9月15日で、値は99ppbであった。

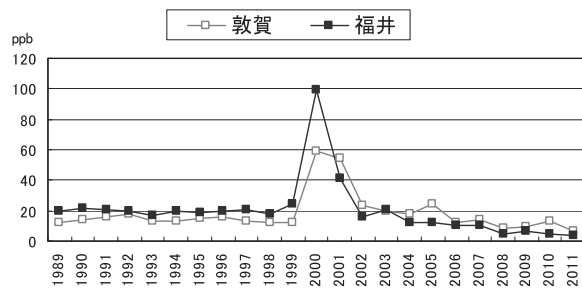


図 1-1 SO₂ 日平均値の年間最高値の経年変化

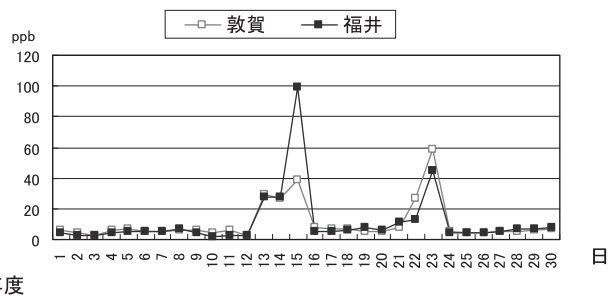


図 1-3 SO₂ 日平均値の推移(2000 年 9 月)

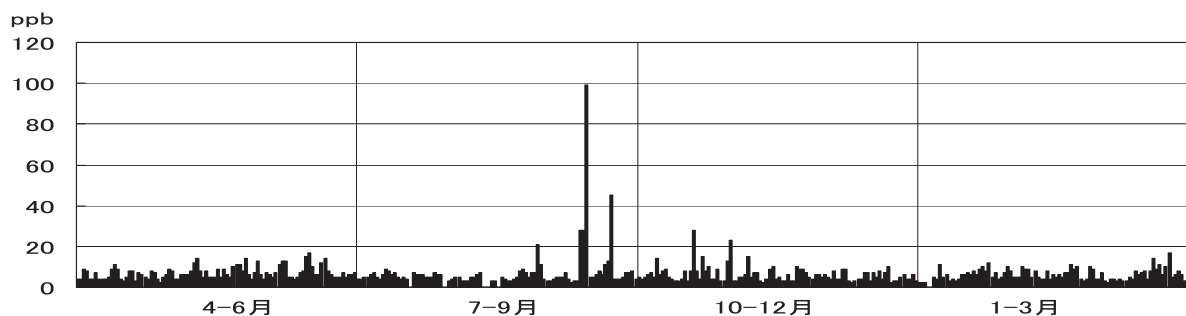


図 1-2 SO₂ 日平均値の推移(2000 年度)

（2）SO₂ 高濃度観測日の状況

図 1-4 に 2000 年 9 月 15 日の福井局における各測定物質および風向・風速の 1 時間値の推移を示した。また、図 1-5 に前日・当日の天気図を、図 1-6 に SO₂ の 1 時間値の最高値（262ppb）を観測した当日 8 時を到達時刻とする後方流跡線図を示した。

図 1-4 から、当日の SO₂ 濃度には午前と午後の 2 回のピークがあり、午後は SPM 濃度も上昇している。

主風向は SSE で、これは、後方流跡線の方法と一致している。

天気は晴れ、風速は最大 6.7m/s（12 時）で、日中以降、やや強い風で推移した。これは天気図から台風 14 号の影響とみられる。

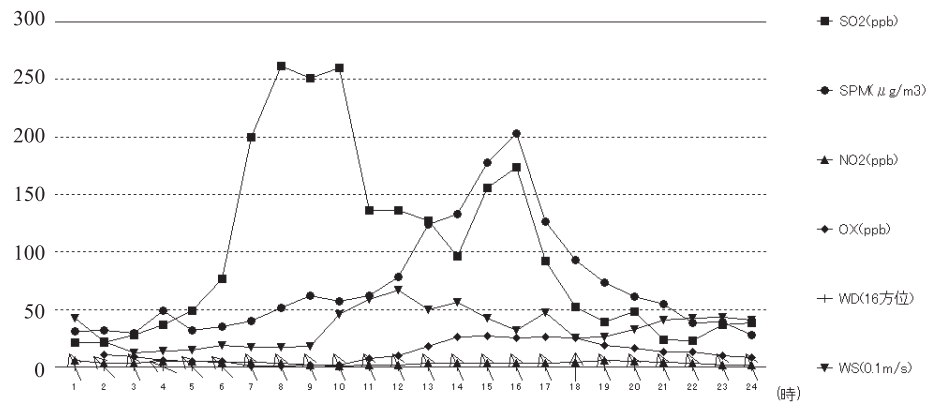
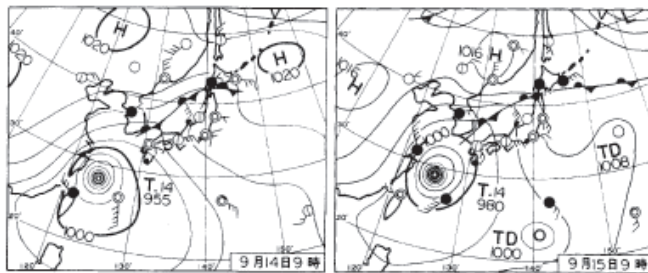


図 1-4 SO₂ 高濃度観測日の 1 時間値の推移(2000 年 9 月 15 日)



14日(木)九州・四国大雨

台14号に吹き込む暖湿流のため九州未明から大●。九州から四国の太平洋側で1時間20mmの強い●。宮崎県高千穂6時44mm、高知県船戸18時68mm・北海道は秋雨Fで●。

15日(金)台風動き出す

動きの遅かった台14号は九州の西へ、午前中①た福岡も夕方から風雨強まる。九州太平洋側から紀伊半島は大●。三重県御浜17時46mm、福江で夜、最大瞬間風速38.0m/s。

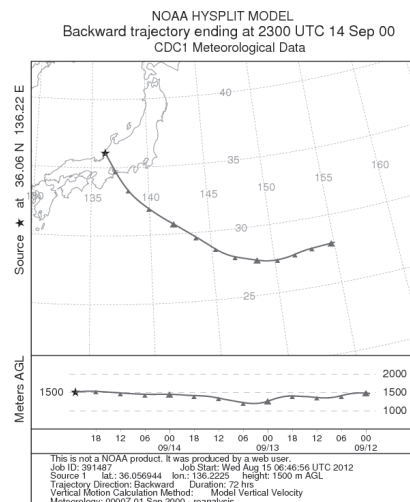


図 1-6 SO₂ 高濃度観測日の後方流跡線
(到達日時:2000 年 9 月 15 日 8 時)

（3）考察

本高濃度事例については、森ら⁶⁾が解析しており、要因は、三宅島（図 1-7）からの火山ガスの飛来と考えられる。三宅島は 2000 年 7 月に噴火し、9 月から二酸化硫黄等の火山ガスの大量放出が始まった⁷⁾。図 1-8 にみられるように火山ガスの放出はその後徐々に沈静化した。



図 1-7 三宅島の位置

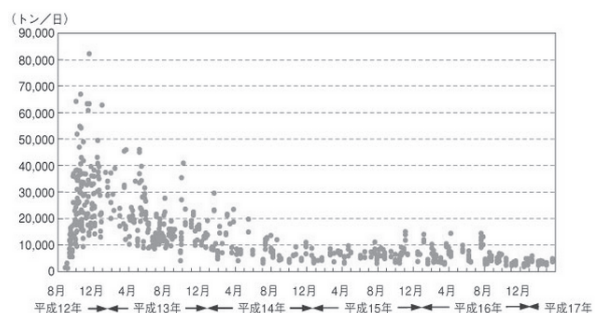


図 1-8 三宅島の火山ガス放出量の推移
(出典:平成 17 年版 防災白書)

3. 2 二酸化窒素 (NO₂)

(1) NO₂ 高濃度観測日

図 2-1 に福井局および敦賀局における日平均値の年間最高値の経年変化を示した。同図から、NO₂ は SO₂ とは異なり、各年度とも類似した濃度レベルで推移しており、その中で、福井局では 2005 年度に、敦賀局では 1996 年度に最高日平均値を観測した。

図 2-2 に 2005 年度の福井局における日平均値の推移を示した。同図から、NO₂ は全般的に寒冷期に濃度が高く、最高日平均値を観測したのは 2 月であった。

図 2-3 に 2 月の福井局および敦賀局における日平均値の推移を示した。同図から、福井局で最高日平均値を観測したのは 2 月 14 日で、値は 43ppb であった。

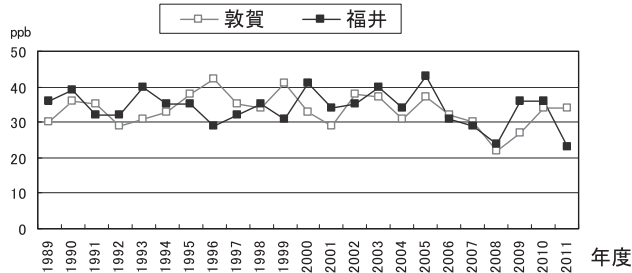


図 2-1 NO₂ 日平均値の年間最高値の経年変化

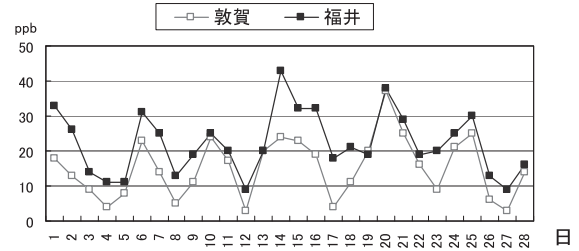


図 2-3 NO₂ 日平均値の推移 (2006 年 2 月)

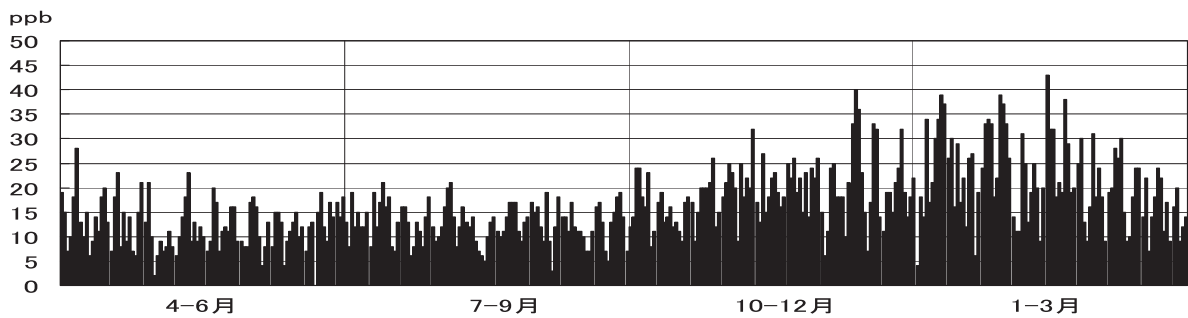


図 2-2 NO₂ 日平均値の推移 (2005 年度)

(2) NO₂ 高濃度観測日の状況

図 2-4 に 2006 年 2 月 14 日の福井局における各測定物質および風向・風速の 1 時間値の推移を示した。また、図 2-5 に前日・当日の天気図を、図 2-6 に NO₂ の 1 時間値の最高値 (58ppb) を観測した当日 19 時を到達時刻とする後方流跡線図を示した。

図 2-4 から、当日の NO₂ 濃度は夕方一時的に低下した以外はほぼ終日 40ppb を超える濃度で推移した。

主風向は S~SSW で、これは後方流跡線が示す西からの移流とは異なっており、上空と地上で大気の違いが異なっていたことが推定される。

風速は夕方一時的に 4.3

m/s に達した以外はほぼ終日 2m/s 以下の弱風で推移した。

天気は、前日は快晴、当日は曇り一時雨で、これは天気図から、前日は移動性高気圧に覆われ、当日は西から気圧の谷が接近したためと考えられる。

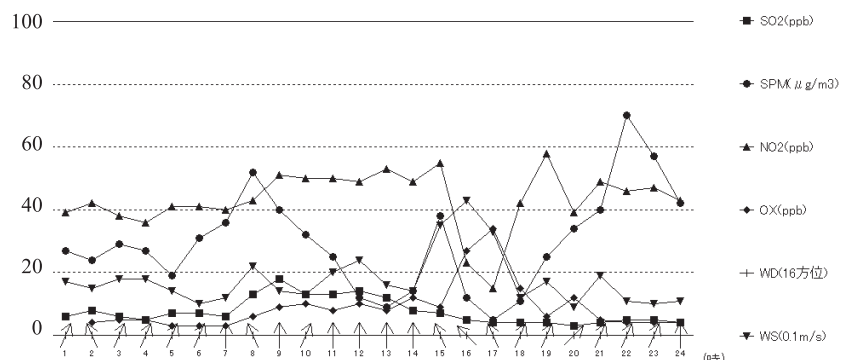
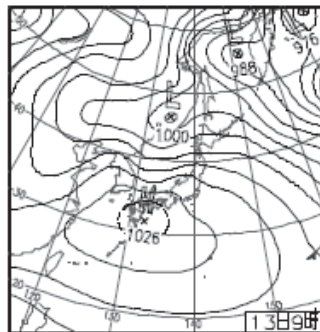
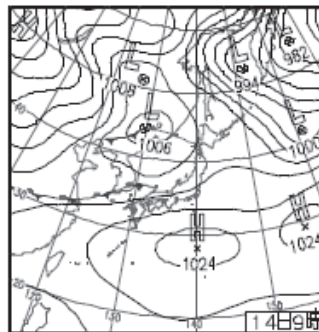


図 2-4 NO₂ 高濃度観測日の 1 時間値の推移 (2006 年 2 月 14 日)



2月13日(月)移動性高気圧
四国の南海上の移動性高気圧に覆われる。関東から西は晴れ。北日本は気圧の谷の接近で雨や雪。全国的に気温高く、2月下旬～3月中旬並み。東京都大島町でウメ開花。



2月14日(火)北日本 気温高め
南海上の高気圧の中心は父島付近まで東進。代わって西から気圧の谷が接近。西日本や北陸では雨の所も。北日本は雪。福岡市、大分市でウメが平年より10～16日遅く開花。

図 2-5 前日・当日の天気図(出典:気象庁 日々の天気図)

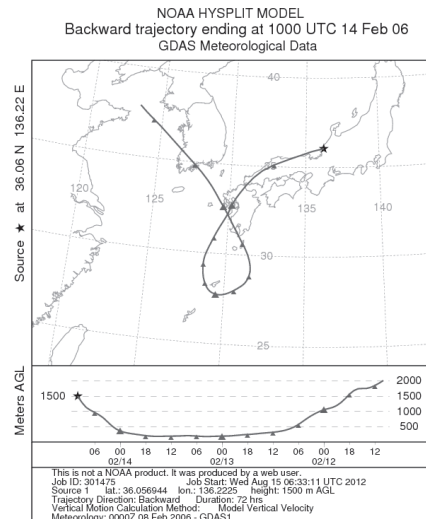


図 2-6 NO₂ 高濃度観測日の後方流跡線
(到達日時:2006 年 2 月 14 日 19 時)

(3) 考察

窒素酸化物は高温の燃焼過程で発生し、おもな発生源は工場や自動車である。寒冷期は温暖期に比べ太陽光が弱い、地表付近での対流による希釈拡散や光化学反応による分解が抑制され、窒素酸化物など、自動車から排出される汚染物質の濃度が高くなる傾向があると言われている^{8,9)}。

鉛直方向の対流は、地上よりも上空の気温の方が高く大気が安定な場合に抑制される。図 2-7 に、本高濃度事例の当日（2 月 14 日）および前日の福井（福井地方気象台）における地上気温¹⁰⁾と、やや離れてはいるが、気象三国測定局（坂井市三国町）における高度 185m 地点の気温の推移をグラフで示した。同図から、天気が快晴であった 13 日の 9 時から 17 時にかけては地上気温が高度 185m 地点の気温を上回ったが、その後は上空の気温の方が高い状態が継続した。したがって本事例では、長時間にわたり大気が安定であったため地表付近に NO₂ が蓄積し高濃度になったものと考えられる。

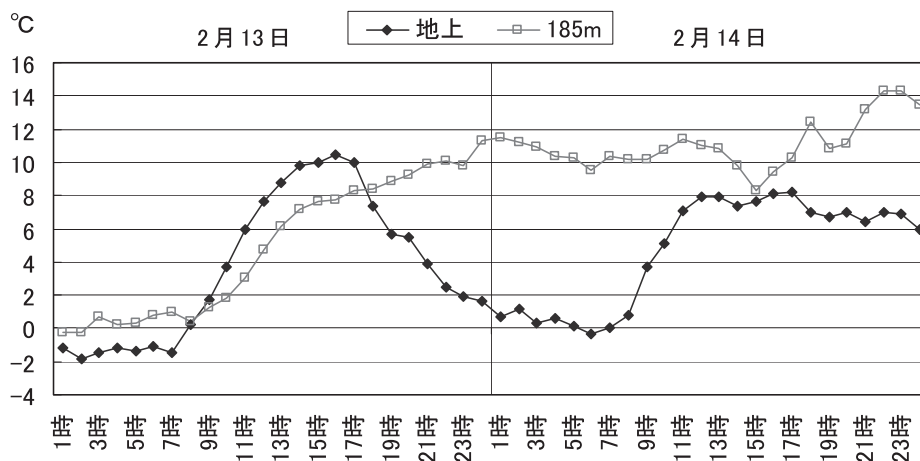


図 2-7 前日・当日の地上温度と高度 185m 地点の気温の推移
(地上気温は福井地方気象台、高度 185m 地点の気温は気象三国局での測定値)

3. 3 浮遊粒子状物質（SPM）

（1） SPM 高濃度観測日

図 3-1 に福井局および敦賀局における日平均値の年間最高値の経年変化を示した。同図から、最高日平均値を観測したのは福井局、敦賀局ともに 2002 年度であった。

図 3-2 に 2002 年度の福井局における日平均値の推移を示した。同図から、最高日平均値を観測したのは 4 月であった。

図 3-3 に 4 月の福井局および敦賀局における日平均値の推移を示した。同図から、福井局で最高日平均値を観測したのは 4 月 9 日で、値は $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

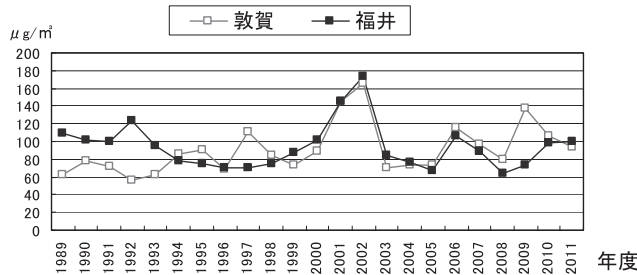


図 3-1 SPM 日平均値の年間最高値の経年変化

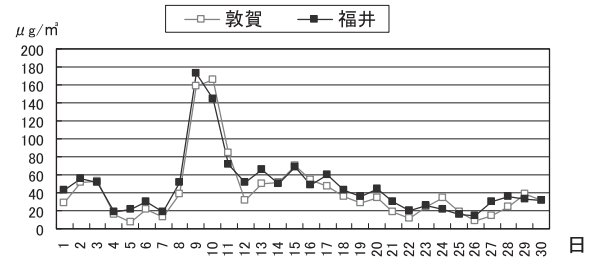


図 3-3 SPM 日平均値の推移(2002 年 4 月)

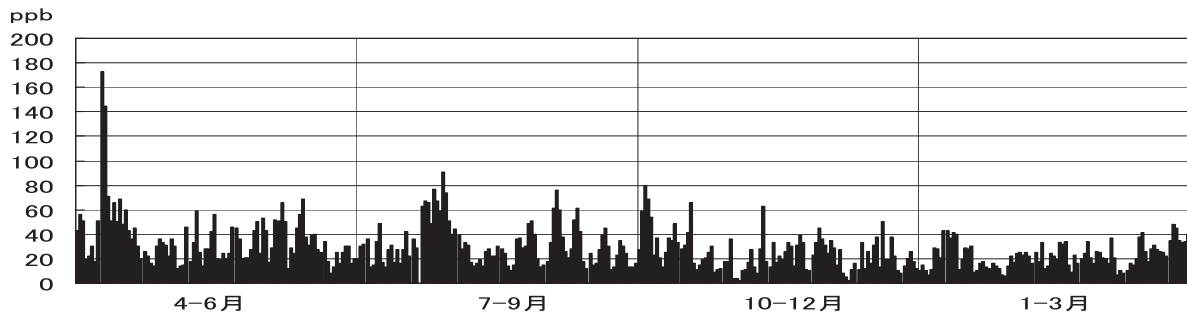


図 3-2 SPM 日平均値の推移(2002 年度)

（2） SPM 高濃度観測日の状況

図 3-4 に 2002 年 4 月 9 日の福井局における各測定物質および風向・風速の 1 時間値の推移を示した。また、図 3-5 に前日・当日の天気図を、図 3-6 に SPM の 1 時間値の最高値 ($248 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を観測した当日 4 時を到達時刻とする後方流跡線図を示した。

図 3-4 から、当日の SPM 濃度には 3 つのピーク（4 時、16 時、24 時）があり、ピーク時の風向は WNW～NW であった。

後方流跡線においても西方からの移流が認められる。

風速は最高 3.8m/s、平均 1.6m/s で弱風であった。

天気は曇り一時雨で、これは天気図から、寒冷前線の影響と考えられる。

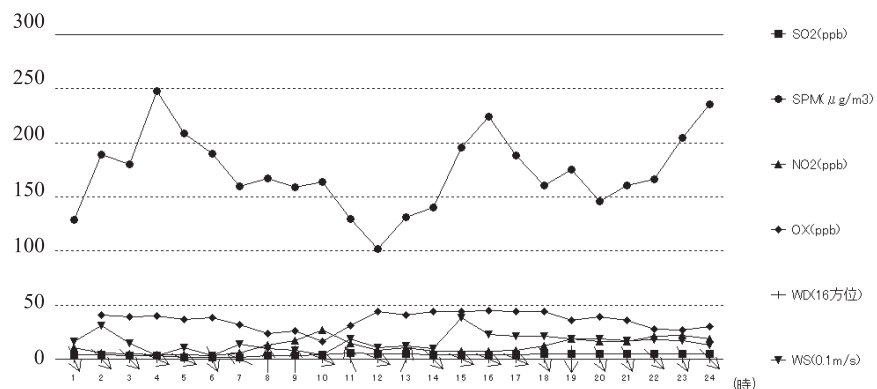
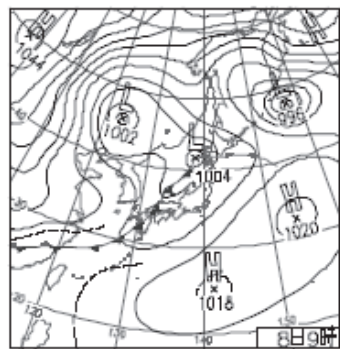
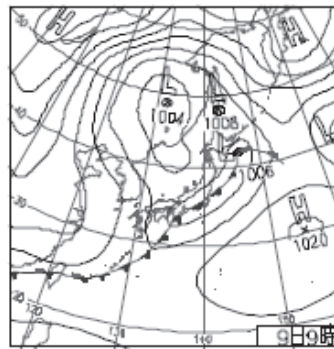


図 3-4 SPM 高濃度観測日の 1 時間値の推移(2002 年 4 月 9 日)



8日(月) 今年初の真夏日
寒冷前線の南下遅く、本州太平洋側を中心に晴れ。各地で夏日となり5月下旬～6月中旬ごろの気温、沖縄八重山地方大原で今年初の真夏日。



9日(火) 前線通過で弱い雨
寒冷前線が通過し、関東～東北で弱い雨。気温は全国的にほぼ平年並へ戻った。東海～九州は午後には晴れて、西日本各地に黄砂。最北の稚内でも黄砂観測。

図 3-5 前日・当日の天気図(出典:気象庁 日々の天気図)

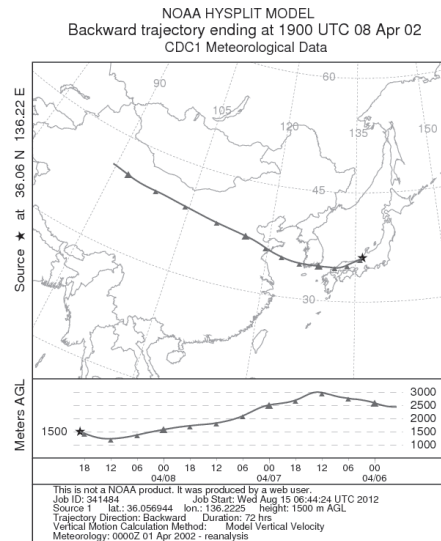


図 3-6 SPM 高濃度観測日の後方流跡線
(到達日時:2002 年 4 月 9 日 4 時)

(3) 考察

SPM は環境基準の告示において、「大気中に浮遊する粒子状物質であってその粒径が $10\mu\text{m}$ 以下のものをいう。」と定義されている。大気中の粒子状物質には発生源から直接粒子として放出される一次粒子と、ガス状物質として放出されたものが光化学反応などを経て粒子化する二次粒子があり、一次粒子には、工場や自動車などからの人為起源のものと、土壌・海塩の飛散、火山、森林火災など自然起源のものがあるとされる¹¹⁾。

本高濃度事例については、当日、福井を含む全国 37 ヶ所の気象官署において黄砂が観測されていること¹²⁾や後方流跡線の移流経路から、大陸からの黄砂の飛来が要因と考えられる。

本報告の対象期間において福井で黄砂が観測された記録を表 3 に示した。2002 年度の観測日数は計 16 回で、1 年あたりの観測日数が最多であり、また、2002 年 4 月は観測日数が計 14 日で、ひと月あたりの観測日数が最多であった。特に 4 月 8 日から 18 日にかけては 11 日間連続して黄砂が観測され、他に例のない長期間にわたる事例であった。

表 3 福井における黄砂観測日の経年変化
(出典:気象庁ホームページ)

年度	4-9 月	10-3 月	合計日数
2011	5/2,3,4,13,14	—	5
2010	4/29, 5/4,5,6,21,22	11/12,13,14 12/3	10
2009	—	12/26,3/21	2
2008	—	2/15,21 3/16,17,18	5
2007	4/1,2,5/26,27	3/3,17,18	7
2006	4/4,8,18,19,24,25	3/28,29	8
2005	4/21	—	1
2004	4/1,17,18	—	3
2003	4/13,14	3/11,12,31	5
2002	4/1,2,3,8,9,10,11,12, 13,14,15,16,17,18	11/12, 3/27	16
2001	4/14,15,5/16,17,18,19	3/17,18,19,22,23	11
2000	4/8,9	3/6,7,20,21	6
1999	—	3/3	1
1998	4/19,20	1/27,3/3	4
1997	—	3/29,30	2
1996	—	3/7,8	2
1995	—	—	0
1994	—	—	0
1993	4/1,2,3,4,27,28	—	6
1992	4/21,22	—	2
1991	5/10,11,12	—	3
1990	4/8,9,10,11,12,28	—	6
1989	4/1,2,19	3/10,11	5

3. 4 光化学オキシダント (Ox)

(1) Ox 高濃度観測日

図 4-1 に福井局および敦賀局における日平均値の年間最高値の経年変化を示した。同図から、最高日平均値を観測したのは福井局、敦賀局ともに 2009 年度であった。ただし、濃度レベルはその前後の年度とほぼ同じであった。

図 4-2 に 2009 年度の福井局における日平均値の推移を示した。同図から、Ox は全般的に 4 月から 6 月にかけて濃度が高く、最高日平均値を観測したのは 5 月であった。

図 4-3 に 5 月の福井局および敦賀局における日平均値の推移を示した。同図から、福井局で最高日平均値を観測したのは 5 月 21 日で、値は 73ppb であった。

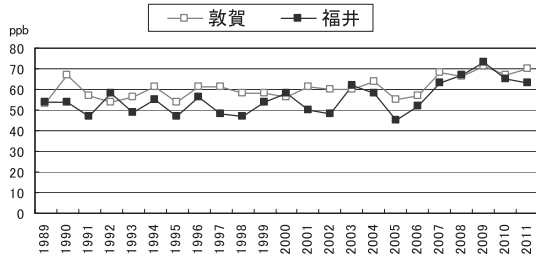


図 4-1 Ox 日平均値の年間最高値の経年変化

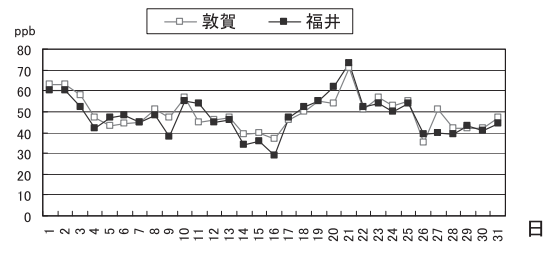


図 4-3 Ox 日平均値の推移(2009 年 5 月)

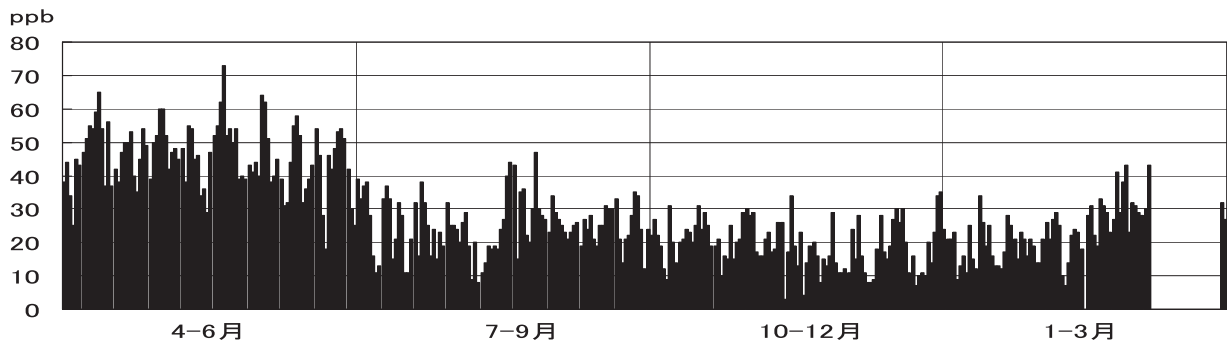


図 4-2 Ox 日平均値の推移(2009 年度)

(2) Ox 高濃度観測日の状況

図 4-4 に 2009 年 5 月 21 日の福井局における各測定物質および風向・風速の 1 時間値の推移を示した。また、図 4-5 に前日・当日の天気図を、図 4-6 に Ox の 1 時間値の最高値 (109ppb) を観測した当日 18 時を到達時刻とする後方流跡線図を示した。

図 4-4 から、当日の Ox 濃度は 6 時以降ほぼ単調に増加し、18 時に最高値に達した。

主風向は S~SE で、後方流跡線においても南方からの移流が認められる。

風速は午前中は弱かったが、午後は強くなり、最高 6.6m/s に達した。

天気は曇りで夕方からは小雨となった。これは天気図から気圧の谷が接近したためと考えられる。

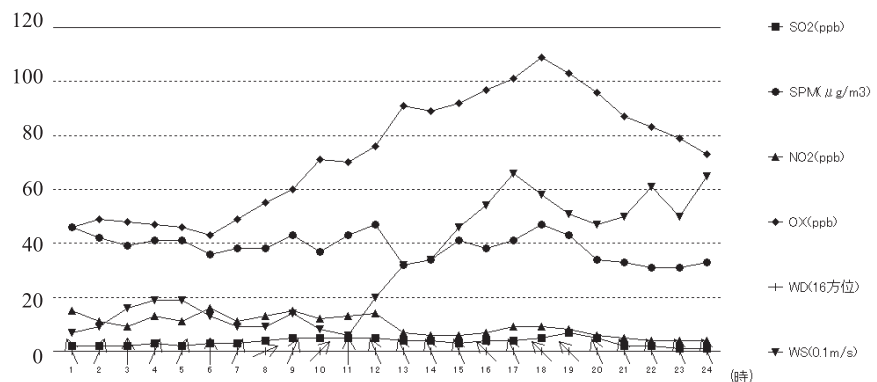


図 4-4 Ox 高濃度観測日の 1 時間値の推移(2009 年 5 月 21 日)

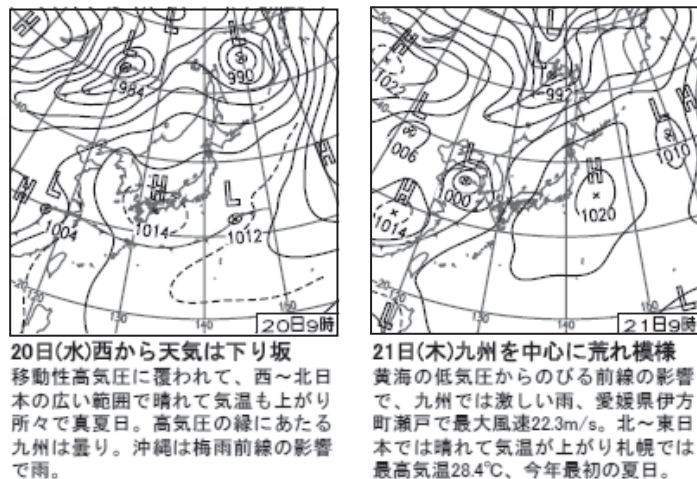


図 4-5 前日・当日の天気図(出典:気象庁 日々の天気図)

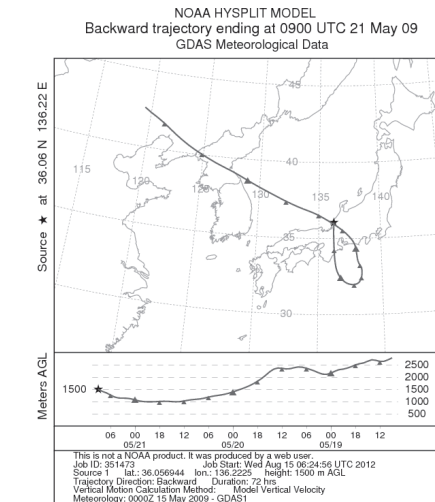


図 4-6 Ox 高濃度観測日の後方流跡線
(到達日時:2009 年 5 月 21 日 18 時)

(3) 考察

Ox は窒素酸化物や揮発性有機化合物(VOC)が太陽光を受けて光化学反応によって生成される。光化学反応は大気の流れの過程で進行するため、窒素酸化物などの前駆物質の発生源とは離れた地域で Ox の高濃度が観測される傾向がある¹³⁾。

本高濃度事例をもたらした大気は、後方流跡線から、前々日の 19 日から前日の 20 日にかけて北西方向から飛来し、本県上空を通過して南下したあと、当日 21 日に U ターンして再び本県に飛来したと推定される。

19 日から 20 日にかけて飛来した大気中の Ox 濃度をみるために、図 4-7 に日本海沿岸近くに位置する三国局（坂井市三国町）における両日の Ox および風向・風速の時系列推移を示した。同図から、北西風が卓越した時間帯の Ox 濃度は約 80ppb で、大陸方面からかなり高めの濃度の Ox が移流してきたことがうかがえる。

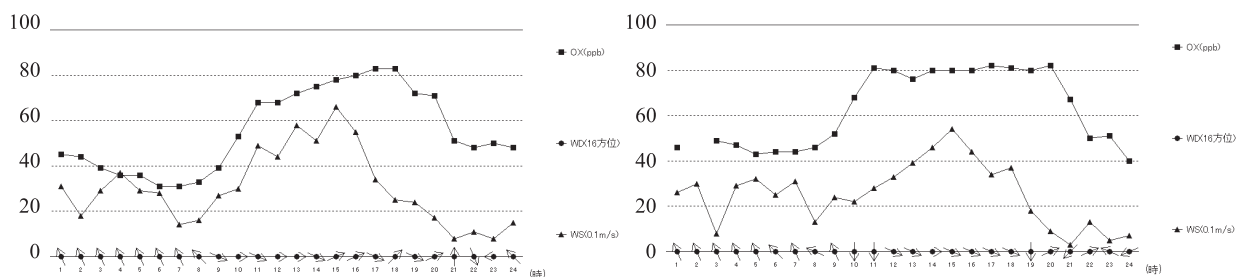


図 4-7 三国局における Ox 濃度および風向・風速の推移(2009 年 5 月 19 日および 20 日)

また、21 日に U ターンして南方から飛来した大気中の Ox 濃度は、県境に最も近い和久野局（敦賀市新和町）の最高値が 113ppb (15 時)であったこと(図 4-8)や風上の隣県の最高値が約 130ppb であったこと(注)から、100ppb 以上に達していた可能性がある。

以上のことから、本高濃度事例では、大陸方面から移流してきた Ox に国内(県外)で発生した Ox が加わり、さらに本県内で発生した Ox が加算されて高濃度になったものと考えられる。

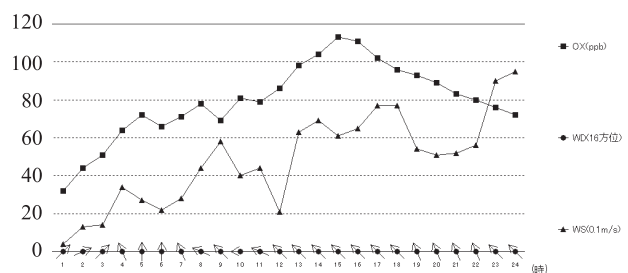


図 4-8 和久野局における Ox 濃度および風向・風速の推移(2009 年 5 月 21 日)

(注) 当日、滋賀県において 129ppb (15 時 ; 長浜局)、岐阜県において 130ppb (14 時 ; 大垣南部局) を観測している¹⁴⁾。

4. まとめ

おもな大気汚染物質 4 項目について、1989 (平成元) 年度から 2011 (平成 23) 年度までの 23 年間に福井局において最も高い日平均値を観測した事例は以下のとおりであった。

(1) 二酸化硫黄 (SO₂)

2000 年 9 月 15 日に最も高い日平均値 (99ppb) を観測した。本事例は、三宅島からの火山ガスの飛来が要因と考えられる。

(2) 二酸化窒素 (NO₂)

2006 年 2 月 14 日に最も高い日平均値 (43ppb) を観測した。本事例は、地上よりも上空の気温の方が高い、大気が安定な状態が長時間継続したことが要因と考えられる。

(3) 浮遊粒子状物質 (SPM)

2002 年 4 月 9 日に最も高い日平均値 (173 μg/m³) を観測した。本事例は、大陸からの黄砂の飛来が要因と考えられる。

(4) 光化学オキシダント (Ox)

2009 年 5 月 21 日に最も高い日平均値 (73ppb) を観測した。本事例は、大陸方面から移流してきた Ox に国内 (県外) で発生した Ox が加わり、さらに本県内で発生した Ox が加算されて高濃度になったと考えられる。

参考文献

- 1) 山田克則ほか、2011、福井県における大気汚染常時監視、日本海地域の自然と環境、第 18 号、p63
- 2) 環境省 HP>環境統計・調査結果等>環境基準 (<http://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>)
- 3) 「気象」2000 年 11 月号、財団法人 日本気象協会、p26
- 4) 気象庁 HP>気象統計情報>気象統計情報>天気予報・台風の資料>日々の天気図 (<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>)
- 5) ARL Home>READY>Transport & Dispersion Modeling>HYSPLIT>HYSPLIT Trajectory Model (http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php)
- 6) 森英倫ほか、2000、福井県における三宅島噴火の影響、福井県環境科学センター年報 第 30 巻 2000 年度、p21 (http://www.erc.pref.fukui.jp/sogo/d101/2000/NH12_05.PDF)
- 7) 内閣府防災情報 HP>防災白書>平成 17 年版防災白書>本文>第 1 部>第 1 章>4>4-1 三宅島の噴火から全島避難まで (http://www.bousai.go.jp/hakusho/h17/BOUSAI_2005/html/honmon/hm110400.htm)
- 8) 河村武編、1979、大気環境の科学 3 都市の大気環境、財団法人 東京大学出版会、p60
- 9) 横浜国立大学大学院環境情報学府 益永・中井&松田 研究室 HP>今日の大気汚染>季節と都市と大気汚染 (http://risk.kan.ynu.ac.jp/air/kisetu_toshi.html)
- 10) 気象庁 HP>気象統計情報>過去の気象データ検索>1 時間ごとの値
- 11) 磯野謙治編、1979、大気環境の科学 2 大気汚染物質の動態、財団法人 東京大学出版会、p88
- 12) 気象庁 HP>気象統計情報>地球環境・気候>「地球環境のデータバンク」黄砂
- 13) 環境省 HP>大気環境・自動車対策>光化学オキシダント関連情報
- 14) 国立環境研究所 HP>データベース>環境数値データベース